

Die spätglazialen sowie die frühpostglazialen Klimaverhältnisse im Bereiche der Alpen: Sauerstoffisotopenkurven kalkhaltiger Sedimente

Abstract:

$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ isotope analyses on carbonate lake sediments from Central Europe exhibit abrupt, characteristic variations reflecting temperature changes. Between 13,000 and 11,000 years before present, a more or less continuous warm period (Bölling-Alleröd) existed separated from the Postglacial by the Younger Dryas cold phase. Results from 25 sites in Central Europe, especially the forelands of the Alps indicate, with the exception of 3 sites south of the Alps, a synchronous large-scale climatic development. Indirect dating and stratigraphic correlation of the different records was mostly performed by means of pollen analysis. Our results correlate very well with $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ measurements on Greenland ice cores, and they agree well with results from deep sea sediment studies in the North Atlantic Ocean covering the Glacial-Postglacial transition.

Key words:

Climate history, Late Glacial, lake sediments, oxygen isotopes.

1. Einleitung

Wir stellen in dieser Arbeit Feinvariationen im $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Isotopenverhältnis ($\delta^{18}\text{O}$) verschiedener Objekte aus dem Alpenraum vor. Gemessen wird das Isotopenverhältnis als relative Abweichung in ‰ vom internationalen Standard SMOW für Wasser und PDB für kalkhaltige Sedimente (CRAIG, 1957). Diese Feinvariationen haben in der Natur ihre Ursache in einem Dampfdruckunterschied, welcher zwischen H_2^{18}O und H_2^{16}O besteht. Während eines Phasenwechsels (flüssig \rightleftharpoons dampfförmig) findet eine Isotopenfraktionierung statt, indem sich das schwere Element ^{18}O in der gasförmigen Phase etwas anreichert. Man findet, daß $\delta^{18}\text{O}$ im Niederschlag gleichsinnig mit der Lufttemperatur variiert, weil H_2^{18}O auf seinem Weg über das Meer zum Kontinent während Abkühlung bevorzugt ausregnet (DANSGAARD, 1964; SIEGENTHALER und OESCHGER, 1980). Wir kennen verschiedene Speicher, welche $\delta^{18}\text{O}$ des Niederschlags fixieren: z. B. Eis, Seekreide und Molluskenschalen. Es ist allerdings zu berücksichtigen, daß $\delta^{18}\text{O}$ des Seewassers mit einer gewissen Wertverschiebung in die Sedimente eingelagert wird. Für eine ausführliche Erläuterung der hier erwähnten Prozesse verweisen wir auf SIEGENTHALER und EICHER (1986).

Während im Meerwasser, der Quelle unserer Niederschläge, $\delta^{18}\text{O}$ heute etwa 0‰ (vs SMOW) beträgt, variieren die Werte in unseren biogenen Süßwasserkarbonatsedimenten in Abhängigkeit von der Isotopenzusammensetzung der Niederschläge sowie speziellen örtlichen Gegebenheiten etwa zwischen –14‰ und –3‰ (vs PDB). Stärker negative Werte entsprechen dabei tieferen Temperaturen als weniger negative.

2. Die spätglazialen sowie die frühpostglazialen Isotopenverhältnisse am Gerzensee

An einem Seekreideprofil des Gerzensees haben wir ein feinmaschiges Standardisotopenprofil erarbeitet (Abb. 2), auf das wir uns bei unseren Vergleichen in Kapitel 3 beziehen werden (EICHER, 1979 a und b). Die zeitliche Gliederung erfolgte auf Grund der am selben Sediment durchgeführten pollenanalytischen Untersuchungen, indem wir, in Ermangelung von ^{14}C -Daten, die FIRBAS'sche Zonierung (1949) beibehielten. Als Leithorizont konnte bei einigen Objekten der Laacher Bimstuff (La) nachgewiesen werden (WEGMÜLLER und WELTEN, 1973; sowie VAN DEN BOGAARD, 1983).

Das Isotopenprofil setzt zeitlich in der Pollenzone Älteste Dryaszeit (Ia) mit stark negativem $\delta^{18}\text{O}$ ein. Der deutliche Werte- und damit auch Temperaturanstieg um 13 000 BP fällt mit der einsetzenden spätglazialen Wiederbewaldung zusammen. Über die Zonen Bölling (Ib), Ältere Dryaszeit? (Ic) und Alleröd (II) hinweg, also bis etwa 11 000 BP, weist $\delta^{18}\text{O}$ relativ hohe Werte auf, allerdings mit fallender Tendenz. Zwischen 11 000 und 10 000 BP hebt sich mit deutlich negativerem $\delta^{18}\text{O}$ die Pollenzone Jüngere Dryas (III) als Kältezeit ab. Der erneute Werteanstieg im Übergang zur Zone Präboreal (IV) dürfte zugleich die Temperaturzunahme an der Grenze zwischen dem Spät- und dem Postglazial ausdrücken. Mit relativ hohen Werten erreicht die Isotopenkurve im obersten Sedimentabschnitt die Pollenzone Boreal (V).

Auf Grund von Untersuchungen an Tiefseesedimenten postulieren RUDDIMAN und MCINTYRE (1981) aus-

geprägte Variationen im Vereisungszustand des Nordatlantiks. Zeitlich fallen diese Änderungen mit den von uns gefundenen Klimaänderungen an den Grenzen zwischen den Zonen Ia/Ib, II/III und III/IV zusammen. Ebenfalls ließen sich $\delta^{18}O$ -Analysen an einem Eisbohrkern von Grönland bis zu den Feinvariationen mit der Isotopenkurve von Gerzensee korrelieren (SIEGENTHALER et al., 1984). Auf Grund von Sedimentzuwachsdaten haben wir Abschätzungen der Zeitintervalle vorgenommen, innerhalb welcher sich die eben genannten starken Temperaturänderungen abgespielt haben dürften. Es ergeben sich dabei Werte, die innerhalb eines Jahrhunderts liegen. – Weil $\delta^{18}O$ ohne Zeitverzögerung auf Klimaänderungen anspricht, eignen sich die Isotopenkurven biogener Karbonate zur Synchronisation von Profilen verschiedener Standorte.

3. Die Isotopenverhältnisse bei verschiedenen Profilen aus dem Alpenraum

Zur räumlichen Abgrenzung des im 2. Kapitel erwähnten Klimageschehens haben wir Isotopenpro-

file verschieden gelegener Standorte zu messen begonnen. In dieser Arbeit nennen und zeigen wir z. T. 25 Profile, die alle in den Bereich der Karte «Alpenraum» des Klimadiagramm-Weltatlas von WALTER und LIETH (1964) gehören. Neben eigenen Resultaten sind auch solche anderer Autoren aufgetragen. Die geographische Lage der Objekte findet sich in Abb. 1, davon sind 20 Isotopenkurven in Abb. 3 dargestellt.

Eine erste Gruppe umfaßt Diagramme, deren Standorte zum mitteleuropäischen Klimatyp VI der tieferen Lagen gehören. Es handelt sich um eine stärker humide Region der collin-submontanen Stufe mit höheren Niederschlägen und vermehrt wirksamen Winterfrösten, welche sich in breitem Saum um die Alpen legt (REHDER, 1960–1967). Wir zählen dazu die folgenden Standorte:

Der Gerzensee (Abb. 1, Nr. 12; Abb. 3, Nr. 5) 603 m ü. M. Der See liegt etwa 20 km S von Bern am Südfuß des Belpbergs im höheren schweizerischen Mittelland. Wir haben an verschiedenen Stellen des Sees Isotopenprofile gemessen. Über das Standardprofil haben wir in Kapitel 2 geschrieben.

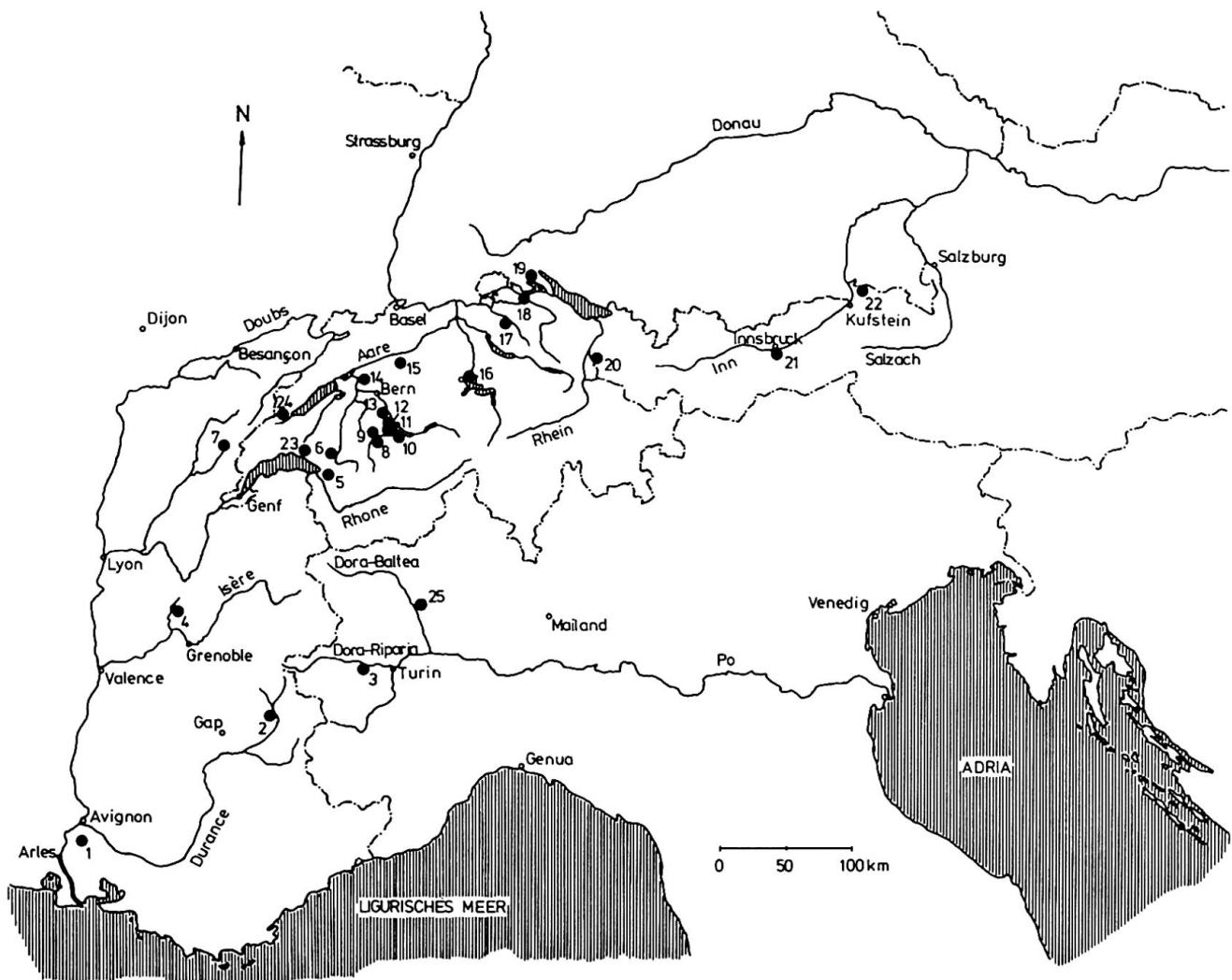


Abb. 1 Übersichtskarte: Lage der untersuchten Objekte

Das Faulenseemoos (Abb. 1, Nr. 10; Abb. 3, Nr. 1) 590 m ü. M. Das verlandete Moor liegt etwa 30 km SE von Bern am Thunersee und ist von diesem durch einen Felsriegel getrennt. Der Isotopenkurvenverlauf bestätigt im wesentlichen die Befunde vom Gerzensee. Die starken Werteschwankungen in Ia und in IV sind möglicherweise lokal bedingt (EICHER, 1979 a und b).

Der Amsoldingersee (Abb. 1, Nr. 11; Abb. 3, Nr. 8) 641 m ü. M. Ähnlich wie der Gerzensee, liegt das Gewässer im höheren schweizerischen Mittelland, etwa 25 km S von Bern. LOTTER (1985) hat an diesem Objekt ein Isotopenprofil gemessen, welches den Werteanstieg zwischen Ia/Ib zwar deutlich, Zone III jedoch mit einem einzigen Wert nicht sehr klar ausweist.

Linden (Abb. 1, Nr. 12) 788 m ü. M. Der Standort Linden findet sich auf dem Molassesockel Belpberg, knapp 10 km S von Bern. Zwischen Ia und III widerspiegelt die Isotopenkurve die Verhältnisse vom Gerzensee (Publikation zusammen mit F. KAISER in Vorbereitung).

Der Lobsigensee (Abb. 1, Nr. 14; Abb. 3, Nr. 2) 514 m ü. M. Das Gewässer liegt etwa 15 km NW von Bern im tieferen schweizerischen Mittelland. Es wurden verschiedene Isotopenprofile, u. a. auch an Molluskenschalen gemessen (AMMANN und TOBOLSKI sowie EICHER und SIEGENTHALER, 1983). Das vorliegende Seekreideprofil läßt den Übergang Ia/Ib vermissen, weist jedoch Zone III deutlich aus.

Der Burgäschisee (Abb. 1, Nr. 15; Abb. 3, Nr. 3) 465 m ü. M. Dieser See liegt knapp 30 km NE von Bern im tieferen schweizerischen Mittelland. Das Profil reicht im untersten Abschnitt möglicherweise vor den 20 000er Gletschervorstoß zurück (WELTEN, 1982b und EICHER, 1979a). Nach dem Übergang Ia/Ib liegt vorläufig nur eine grobrastrige Messung vor.

Der Rotsee (Abb. 1, Nr. 16) 420 m ü. M. Dieses Gewässer liegt an der nördlichen Peripherie der Stadt Luzern. Das Profil widerspiegelt im wesentlichen die Verhältnisse vom Gerzensee (KÜTTEL und LOTTER, Publikation in Vorbereitung).

Das Dätttau (Abb. 1, Nr. 17) etwa 485 m ü. M. Das Dätttau Trockental liegt SW von Winterthur im ostschweizerischen Mittelland. Wir haben hier die Isotopenverhältnisse an den Schalen landlebender Schnecken gemessen. Der Übergang II/III zeichnet sich deutlich ab (KAISER und EICHER, Publikation in Vorbereitung).

Der Nußbaumersee (Abb. 1, Nr. 18, Abb. 3, Nr. 9) 434 m ü. M. Der See findet sich etwa 30 km NE von Zürich im ostschweizerischen Mittelland. Das Isotopenprofil erfaßt den Übergang Ia/Ib noch nicht; Zone III ist jedoch deutlich durch stark negative Werte ausgewiesen (RÖSCH, 1983).

Der Mindelsee (Abb. 1, Nr. 19, Abb. 3, Nr. 10) 405 m ü. M. Dieses Gewässer liegt im Verlandungsgebiet des Untersees (Bodensee). Das von Staesche schon in den 60er Jahren analysierte Profil widerspiegelt in einem groben Raster die Isotopenverhältnisse vom Gerzensee (LANG, 1970).

Mariagrün (Abb. 1, Nr. 20, Abb. 3, Nr. 6) 540 m ü. M. Es handelt sich hier um ein Flachmoor, welches südlich von Feldkirch im Vorarlberg gelegen

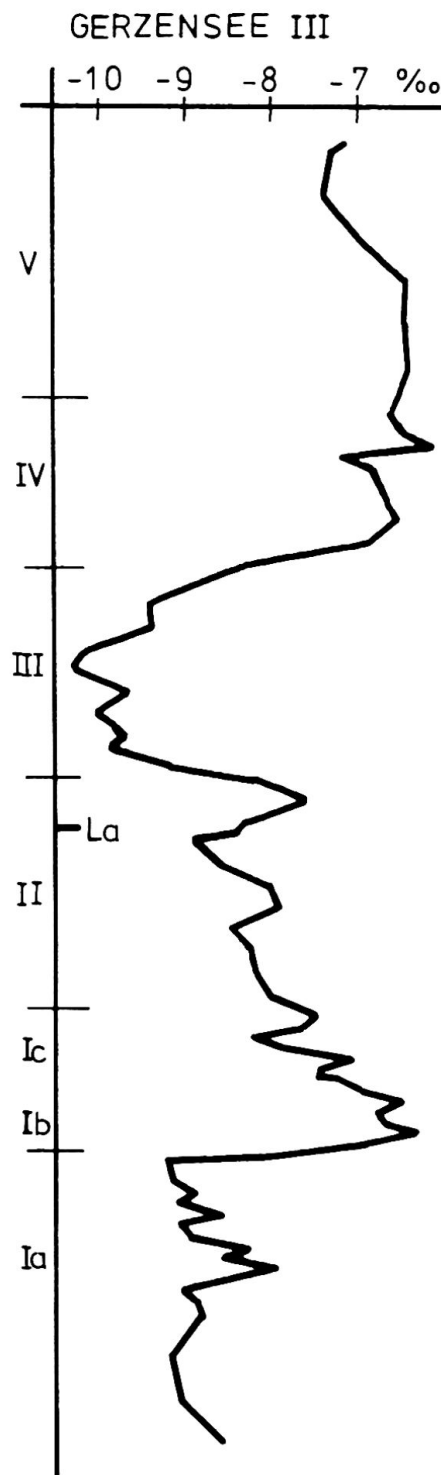


Abb. 2 Sauerstoffisotopenkurve vom Gerzensee

ist. Nach Elimination mehrerer, durch allochthones Sediment bedingter zu hoher Werte (schwarze Punkteschar: Karbonatgehalt <40%) zeichnen sich der Übergang Ia/Ib schwach, die Zone III mit dem Übergang III/IV jedoch deutlich ab (CHÉDEL, 1986).

Der Lansersee (Abb. 1, Nr. 21; Abb. 3, Nr. 4) 840 m ü. M. Das Gewässer liegt südlich von Innsbruck hinter dem Paschberg. Das Isotopenprofil ist teilweise gestört und widerspiegelt die Isotopenverhältnisse vom Gerzensee nur undeutlich. Insbesondere scheint sich ein zweiphasiger Werteanstieg Ia1/Ia2 und Ia2/Ib im untersten Sedimentstück abzuzeichnen (BORTENSCHLAGER, 1978, sowie EICHER, 1979a).

Die Schwemm (Abb. 1, Nr. 22) 684 m ü. M. Das Hochmoor «die Schwemm» liegt etwa 156 km NE von Kufstein bei Walchsee. Es handelt sich hier um das östlichste aussagekräftige Isotopenprofil, das wir bisher aus dem Alpenraum besitzen. Der Übergang Ia/Ib ist noch nicht erfaßt, dafür zeichnet sich Zone III deutlich ab (OEGGL und EICHER, Publikation in Vorbereitung).

Rances (Abb. 1, Nr. 24; Abb. 3, Nr. 18) 607 m ü. M. Dieses Moor liegt am Fuße des Suchet, etwa 10 km W von Yverdon. Das Isotopenprofil (ohne Ia) zeichnet sich durch eine ausgeprägte Zone III aus, welche verschiedene, wohl durch allochthones Material mitbedingte Variationen aufweist (GAILLARD, 1984).

Le Rueret (Abb. 1, Nr. 23; Abb. 3, Nr. 11) 689 m ü. M. Das verlandete Moor liegt etwa 60 km NE von Genf. Die Isotopenanalysen wurden hier an Molluskenschalen (*Valvata piscinalis*) durchgeführt. Die Zone III zeichnet sich klar ab (LEMEILLE et al., 1983).

La Tourbière de Chirens (Abb. 1, Nr. 4; Abb. 3, Nr. 12) 460 m ü. M. Das Moor liegt knapp 30 km NNW von Grenoble im Avant-pays de la Grande Chartreuse. Im wesentlichen widerspiegelt die Isotopenkurve die Verhältnisse vom Gerzensee (EICHER et al., 1981).

Eine zweite Gruppe von Standorten gehört zu einem Klimabereich, der sich unmittelbar vom mitteleuropäischen Typ herleitet, aber als Gebirgsklima abzutrennen ist. Dabei ist zwischen einem Untertyp mit relativ ozeanischem, wolkenreichem Montanklima (Abb. 1, Nr. 5, 6, 7, 8 und 9) und einem solchen mit einem Regenminimum oder wenigstens ohne ausgeprägtes Regenmaximum im Sommer (Abb. 1, Nr. 2) zu unterscheiden (REHDER, 1960–1967).

Le Lac de Siguret (Abb. 1, Nr. 2; Abb. 3, Nr. 15) 1066 m ü. M. Der See liegt auf einem Sporn über dem Durancetal, etwa 30 km ENE von Gap. Das Isotopenprofil bestätigt die Befunde vom Gerzen-

see. Im Übergang zum Postglazial findet sich ein Hiatus (DE BAULIEU und REILLE, EICHER und SIEGENTHALER, 1983).

Leysin les Léchières (Abb. 1, Nr. 5; Abb. 3, Nr. 13) 1230 m ü. M. Das heute überbaute Moor liegt auf einer Talschulter über dem schweizerischen Rhonetal, etwa 70 km ENE von Genf. Das Isotopenprofil beginnt zeitlich mit Ib und widerspiegelt hierauf die Ergebnisse vom Gerzensee (WELTEN, 1982a; EICHER, 1979a).

La Joux des Ponts (Abb. 1, Nr. 6; Abb. 3, Nr. 16) 837 m ü. M. Gut 50 km SW von Bern liegt dieses Moor am Fuße der freiburgischen Alpettes. Die Isotopenkurve beginnt zeitlich in Ib, Zone III ist schön abgehoben. Der starke Wertefall im Postglazial ist möglicherweise lokal bedingt (GAILLARD, 1984).

Regenmoos ob Boltigen (Abb. 1, Nr. 8; Abb. 3, Nr. 14) 1260 m ü. M. Das Moor liegt auf einer alten Flyschterrasse des Simmentals, gut 35 km S von Bern. Ab Zone Ib widerspiegelt das Profil die Verhältnisse vom Gerzensee (EICHER, 1979a und b; WELTEN, 1982a).

Chutti bei Boltigen (Abb. 1, Nr. 9; Abb. 3, Nr. 7) 925 m ü. M. Dieses Moor liegt auf einer dem Regenmoos gegenüberliegenden Talschulter des Simmentals. Die Isotopenkurve erfaßt die Grenze Ia/Ib knapp. Die Wertefall zwischen II/III ist gering. Eine starke $\delta^{18}\text{O}$ -Abnahme findet sich statt dessen innerhalb Zone II, wofür lokale Verhältnisse eine Rolle gespielt haben dürften (EICHER, 1979a; WELTEN, 1982a).

Etival (Abb. 1, Nr. 7; Abb. 3, Nr. 17) 800 m ü. M. Das Moor liegt etwa 45 km NNW von Genf im französischen Jura. Das Isotopenprofil widerspiegelt die Befunde vom Gerzensee (CAMPY et al., 1983).

Beauchamp (Abb. 1, Nr. 1) 45 m ü. M. Der Moor-komplex findet sich etwa 15 km S von Avignon. Dieser Standort gehört zum mediterranen Klimatyp IV mit einer ariden Zeit im Sommer und milden Wintern. Zwischen den Zonen Ib und IV weist die Isotopenkurve im Vergleich zum Gerzensee Unterschiede auf (Publikation TRIAT-LAVAL und EICHER in Vorbereitung).

Torbiera di Trana (Abb. 1, Nr. 3; Abb. 3, Nr. 20) 360 m ü. M. Das verlandete Moor findet sich etwa 25 km W von Turin. Der Standort ist dem Klimatyp IV/(VI), einem Übergangstyp zwischen dem mediterranen IV und dem submediterran insubrischen Klima V, zuzuordnen. Mit Ausnahme des Werteanstieges zwischen Ia/Ib widerspiegeln sich die Isotopenverhältnisse vom Gerzensee nicht mehr (EICHER, 1979a; SCHNEIDER, 1978).

Torfsee NE des Lago Sirio (Abb. 1, Nr. 25; Abb. 3, Nr. 19) 250 m ü. M. Das Objekt, etwa 50 km NNE

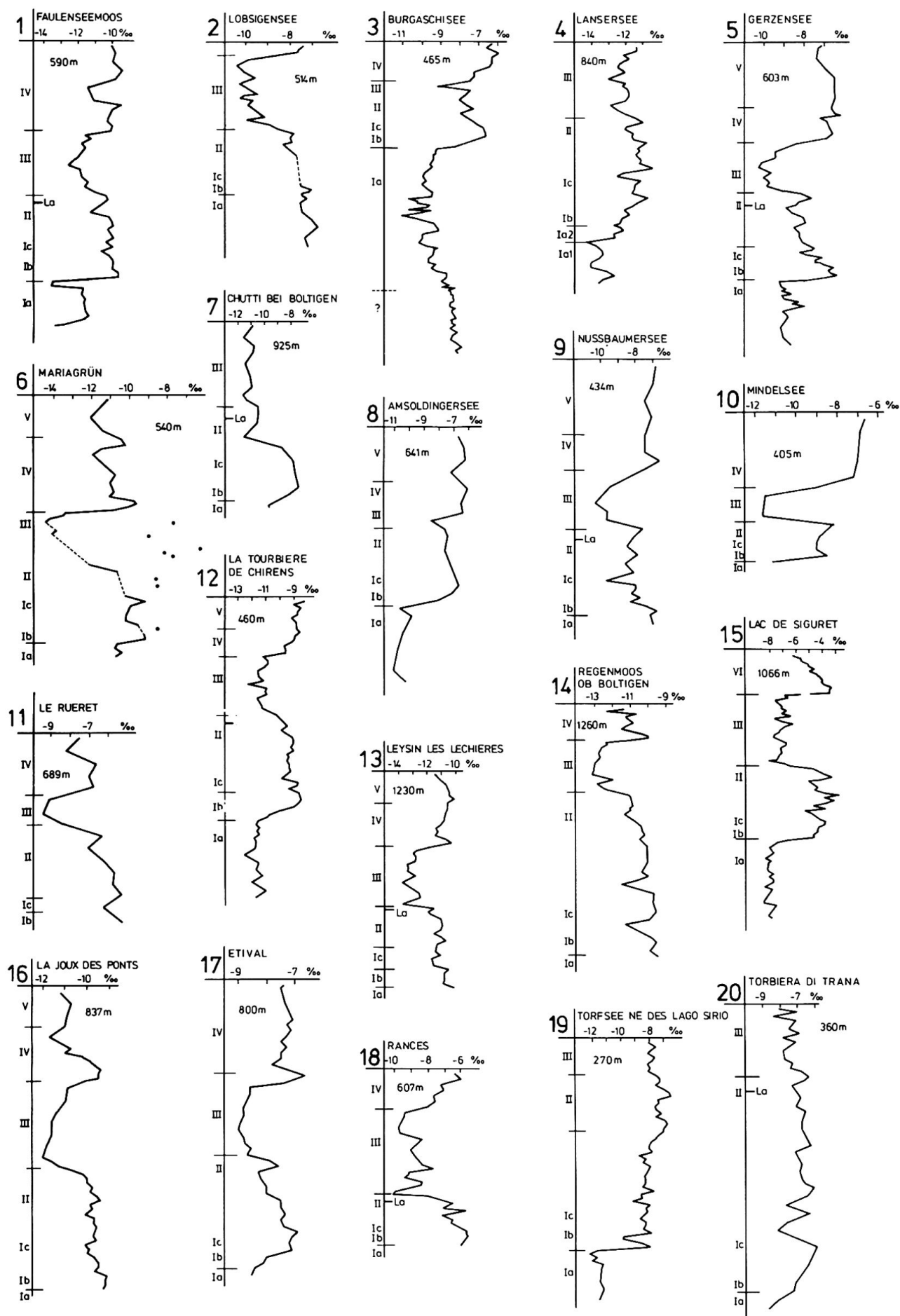


Abb. 3 Sauerstoffisotopenkurven verschiedener Objekte

von Turin gelegen, findet sich im Bereich des humiden submediterran-insubrischen Klimatyps V. Wie beim Profil Torbiera di Trana zeichnet sich auch hier nur der Werteanstieg an der Grenze Ia/Ib deutlich ab (EICHER, 1979a; SCHNEIDER, 1978).

Wir halten abschließend fest, daß die am Gerzensee gefundenen Isotopenvariationen, abgesehen von den mediterran beeinflussten Bereichen, wohl für den ganzen Alpenraum ihre Gültigkeit haben dürften. Lokale klimatische Besonderheiten können jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Verdankung:

Der Autor möchte an dieser Stelle den vielen, vor allem im Literaturverzeichnis genannten Mitarbeitern danken, welche ihm Profile zur Isotopenanalyse zur Verfügung stellten. Insbesondere gilt Dank Herrn Prof. H. Oeschger, Herrn PD. Dr. U. Siegenthaler und Herrn K. Hänni vom Physikalischen Institut in Bern für ihre Unterstützung.

Literatur

- AMMANN, B. and TOBOLSKI, K., sowie EICHER, U. and SIEGENTHALER, U. (1983): Vegetational development during the Late-Würm at Lobsigensee (Swiss Plateau) and Stable isotopes in lake marl and mollusc shells from Lobsigensee. *Studies in the Late-Glacial of Lobsigensee* 1. und 6. *Revue de Paléobiologie*, Vol. 2, No. 2: 163–180 und 217–220.
- BORTENSCHLAGER, S. (1978): Die spätglaziale Vegetationsentwicklung im Pollenprofil des Lanser See-Moores. In: *Führer zur Tirol-Exkursion*; red. von G. Patzelt, Innsbruck.
- CAMPY, M., CHAIX, L., EICHER, U., MOUTHON, J., RICHARD, H., et URLACHER, J.-P. (1983): L'aurochs (*Bos primigenius*) d'Étival (Jura, France) et la séquence tardi et postglaciaire sur les plateaux Jurassiens. In: *Revue de Paléobiologie*, Vol. 2, No. 1: 61–85.
- CHEDEL, M. (1986): Pollenanalytische und moorkundliche Untersuchungen am Flachmoor Mariagrün bei Feldkirch/Vorarlberg (A). Diplomarbeit, Univ. Zürich.
- CRAIG, H. (1957): Isotopic standards for carbon and oxygen correction factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide. In: *Geochim. Cosmochim. Acta*, 12: 133–149.
- DANSGAARD, W. (1964): Stable isotopes in precipitations. *Tellus* 16: 436–468.
- DE BEAULIEU, J. L., REILLE, M., sowie EICHER, U. und SIEGENTHALER, U. (1983): Paléoenvironnement tardiglaciaire et holocène des lacs de Pelléautier et Siguret (Hautes-Alpes, France). I Histoire de la Végétation d'après les analyses polliniques et IV Stable isotopes of oxygen and carbon in the carbonate sediments of lac de Siguret. *Ecologia Mediterranea*; Tome IX, Fascicule 3–4: 19–36 und 49–53.
- EICHER, U. (1979 a): Die $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ - und $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Isotopenverhältnisse in spätglazialen Süßwasserkarbonaten und ihr Zusammenhang mit den Ergebnissen der Pollenanalyse. Diss. Uni Bern.
- EICHER, U. (1979 b): Pollen- und Sauerstoffisotopenanalysen an spätglazialen Profilen vom Gerzensee, Faulensee-moos und vom Regenmoos ob Boltigen. *Mitt. Natf. Ges. Bern*, N. F. 37. Bd: 65–80.
- EICHER, U., SIEGENTHALER, U. and WEGMÜLLER, S. (1981): Pollen and Oxygen Isotope Analyses on Late- and Post-Glacial Sediments of the Tourbière de Chirens (Dauphiné, France). *Quaternary Research* 15: 160–170.
- FIRBAS, F. (1949): Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen. *Jena I*: 1–480.
- GAILLARD, M.-J. (1984): Etude Palynologique de l'Evolution Tardi – et Postglaciaire de la Végétation du Moyen-Pays Romand (Suisse). *Dissertationes Botanicae*, Bd. 77.
- LANG, G. (1970): Florengeschichte und mediterran-mitteleuropäische Florenbeziehungen. *Feddes Repertorium*, Bd. 81, Heft 1–5: 315–335.
- LEMEILLE, E., LETOILE, R., MELIERE, F. and OLIVE, P. (1983): Isotope and other physico-chemical parameters of palaeolake carbonates. In *Palaeoclimates and Palaeowaters*; International Atomic Energy Agency, Vienna.
- LOTTER, A. (1985): Amsoldingensee – Late-glacial and holocene environments of a lake at the southern edge of the Swiss Plateau. In *Swiss lake and mire environments during the last 15,000 years*; edited by G. Lang, J. Cramer, Vaduz.
- REHDER, H. (1960–1967): Walter Heinrich, Klimadiagramm-Weltatlas von Heinrich Walter und Helmut Lieth, unter Mitwirkung von Helmut Rehder und Elisabeth Harnickel. *Jena VEB: G. Fischer*.
- ROESCH, M. (1983): Geschichte der Nußbaumer Seen (Kanton Thurgau) und ihrer Umgebung seit dem Ausgang der letzten Eiszeit aufgrund quartärbotanischer, stratigraphischer und sedimentologischer Untersuchungen. *Mitt. thurg. naturf. Ges.* 45.
- RUDDIMAN, W. F. and MCINTYRE, A. (1981): The north Atlantic Ocean during the last deglaciation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 35: 145–214.
- SCHNEIDER, R. (1978): Pollenanalytische Untersuchungen zur Kenntnis der spät- und postglazialen Vegetationsgeschichte am Südrand der Alpen zwischen Turin und Varese (Italien). *Bot. Jahrb. Syst.* 100,1: 26–109.
- SIEGENTHALER, U. and OESCHGER, H. (1980): Correlation of ^{18}O in precipitation with temperature and altitude. *Nature*, 285: 314–317.
- SIEGENTHALER, U., EICHER, U., OESCHGER, H. and DANSGAARD, W. (1984): Lake sediments as continental $\delta^{18}\text{O}$ records from the Glacial-Post glacial transition. *Annals of Glaciology* 5: 149–152.
- SIEGENTHALER, U. and EICHER, U. (1986): Stable oxygen and carbon isotope analyses. In *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*; ed. by B. E. Berglund. J. Wiley and Sons, Chichester.
- VAN DEN BOGAARD, P. (1983): Die Eruptionen des Laacher See Vulkanismus. Diss. Uni Bochum.
- WALTER, H. und LIETH, H. (1964): Klimadiagramm-Weltatlas. *Gustav Fischer-Verlag, Jena*.
- WEGMÜLLER, S. und WELTEN, M. (1973): Spätglaziale Bims-tufflagen des Laacher Vulkanismus im Gebiet der westlichen Schweiz und der Dauphiné (F). *Eclogae geol. Helv.* Vol. 66/3: 533–541.
- WELTEN, M. (1982 a): Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen in den westlichen Schweizer-Alpen: Bern-Wallis. *Denkschr. der Schw. Naturf. Ges.*, Bd. 95.
- WELTEN, M. (1982 b): Pollenanalytische Untersuchungen im Jüngeren Quartär des nördlichen Alpenvorlandes der Schweiz. *Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz; schweizerische Geologische Kommission*.